

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表2003-516013 ✓

(P2003-516013A)

(43)公表日 平成15年5月7日(2003.5.7)

(51)Int.Cl.⁷

H 03 F 1/32
H 04 B 7/005

識別記号

F I

テマコト^{*} (参考)

H 03 F 1/32
H 04 B 7/005

5 J 0 9 0
5 J 5 0 0
5 K 0 4 6

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 31 頁)

(21)出願番号 特願2001-540922(P2001-540922)
(86) (22)出願日 平成12年11月23日(2000.11.23)
(85)翻訳文提出日 平成14年5月24日(2002.5.24)
(86)国際出願番号 PCT/SE00/02312
(87)国際公開番号 WO01/039367
(87)国際公開日 平成13年5月31日(2001.5.31)
(31)優先権主張番号 99850179.5
(32)優先日 平成11年11月24日(1999.11.24)
(33)優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

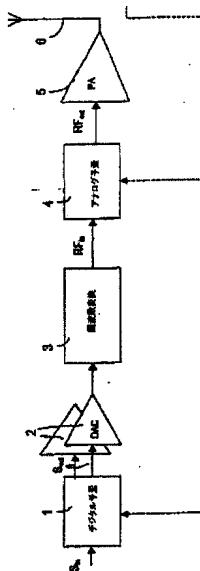
(71)出願人 テレフォンアクチーボラゲット エル エム エリクソン (パブル)
スウェーデン国 エス-126 25 ストックホルム (番地なし)
(72)発明者 レヨンイエルム スコット, アラン
スウェーデン国 エス-172 34 スンド
ビーベルグ, ヴェガガタン 22
(74)代理人 弁理士 園田 吉隆 (外1名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 無線周波数信号の発生方法と装置

(57)【要約】

本発明は、予歪による無線周波数(RF)パワーアンプ(5)の線形化に関するものである。受信されたデジタルベースバンド入力信号にデジタル予歪を与えて(1)、アンプに起因する歪を補償する。その結果出力される信号をD/A変換器(2)に通してアナログ信号に変換し、その後そのアナログ信号に対してアナログ周波数変換を行って(3)無線周波数(RF)信号を得る。当該無線周波数信号にアナログ予歪を与えた(4)後に、パワーアンプで増幅する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 予歪によって無線周波数のパワーアンプを線形化する方法であつて、

- a) 当該アンプによって増幅すべき、デジタル化されたベースバンド入力信号を受け取る過程と、
- b) 受け取った信号に対してデジタル予歪を与えてアンプに起因する歪を補償する過程と、
- c) 予歪を与えた信号を、D/A変換器によってアナログ信号に変換する過程と、
- d) 変換されたアナログ信号に対してアナログ周波数変換を実行する過程と、
- e) 周波数変換された信号に対してアナログ予歪を与える過程と、
- f) アナログ予歪を与えられた信号を前記アンプによって増幅する過程とを有する方法。

【請求項 2】 予歪によって無線周波数のパワーアンプを線形化する方法であつて、

- a) 当該アンプによって増幅すべき、デジタル化されたベースバンド入力信号を受け取る過程と、
- b) 受け取った信号に対してデジタル予歪を与えてアンプに起因する歪を補償する過程と、
- c) デジタル予歪を与えられた信号を中間低周波数に変換する過程と、
- d) 前記の信号を、D/A変換器によってアナログ信号に変換する過程と、
- e) アナログ周波数変換を行って無線周波数信号を得る過程と、
- f) 周波数変換された信号に対してアナログ予歪を与える過程と、
- g) アナログ予歪を与えられた信号を前記アンプによって増幅する過程とを有する方法。

【請求項 3】 アンプの誤差挙動に基づいて予歪を与えられた信号を調節すべく、使用するアンプの出力から誤差信号成分を抽出して適用的にアナログ予歪を与える過程を有する、請求項 1 又は 2 のいずれかに記載の方法。

【請求項 4】 使用するアンプの出力から誤差信号成分を抽出し、実時間で

のアンプの誤差挙動に基づいて予歪信号を調節することで、適用的にデジタル予歪を与える過程を有する、請求項 1ないし 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 5】 受け取ったベースバンド入力信号を、互いに 90 度の位相差を有する 2 つの信号に分離し、次にそれぞれ請求項 1ないし 4 のいずれかに記載の過程を実行する請求項 1ないし 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】 無線周波数 (R F) 信号の線形増幅用パワーアンプであつて

- a) ベースバンド入力信号を受け取る手段と、
- b) 入力信号にデジタル予歪を与える手段と、
- c) 予歪を与えられた信号を D/A 変換する手段と、
- d) アナログ周波数変換を行つて無線周波数信号を得る手段と、
- e) 無線周波数信号に対してアナログ予歪を与える手段と、
- f) 上記 e) の手段によって得られた信号を増幅する手段とを有するパワーアンプ。

【請求項 7】 無線周波数 (R F) 信号の線形増幅用パワーアンプであつて

- a) ベースバンド入力信号を受け取る手段と、
- b) 入力信号にデジタル予歪を与える手段と、
- c) デジタル予歪を与えられた信号を中間低周波数に変換する手段と、
- d) 上記 c) の手段によって得られた信号を D/A 変換する手段と、
- e) アナログ周波数変換を行つて無線周波数 (R F) 信号を得る手段と、
- f) 無線周波数信号に対してアナログ予歪を与える手段と、
- g) 上記 f) の手段によって得られた信号を増幅する手段とを有するパワーアンプ。

【請求項 8】 無線周波数信号の線形増幅用パワーアンプであつて、

- a) ベースバンド入力信号を受け取る手段と、
- b) 受け取った入力信号を、互いに 90 度の位相差を有する 2 つの信号に分離する手段と、
- c) 前記 b) の手段によって分離された 2 つの信号のそれぞれを受け取る、第 1

と第2のパス手段であって、第1と第2のパス手段はそれぞれ、

- c 1) 対応する信号にデジタル予歪を与える手段と、
- c 2) 手段 c 1) によって得られた信号をD/A変換する手段と、
- c 3) 手段 c 2) によって得られた信号をアナログ周波数変換する手段と、
- c 4) 手段 c 3) によって得られた信号にアナログ予歪を与える手段と、
- c 5) 手段 c 4) によって得られた信号を増幅する手段と、

を有する手段と、

- d) 処理された信号を組み合わせる手段とを有するパワーアンプ。

【請求項9】 無線周波数(RF)信号の線形増幅用パワーアンプであって

- a) ベースバンド入力信号を受け取る手段と、
- b) 受け取った入力信号を、互いに90度の位相差を有する2つの信号に分離する手段と、
- c) 前記b)の手段によって分離された2つの信号のそれぞれを受け取る、第1と第2のパス手段であって、第1と第2のパス手段はそれぞれ、
 - c 1) 対応する信号にデジタル予歪を与える手段と、
 - c 2) デジタル予歪を与えられた信号を中間低周波数に変換する手段と、
 - c 3) 手段 c 2) によって得られた信号をD/A変換する手段と、
 - c 4) 手段 c 3) によって得られた信号をアナログ周波数変換して無線周波数信号を得る手段と、
 - c 5) 手段 c 4) によって得られた信号にアナログ予歪を与える手段と、
- d) 処理された信号を組み合わせる手段とを有するパワーアンプ。

【発明の詳細な説明】**【0001】****(技術分野)**

本発明は、無線周波数（R F）信号の発生方法と装置、より具体的には無線周波数信号の線形増幅に関するものである。

【0002】**(背景技術)**

無線基地局では、各無線チャネルに、基地局が網羅するセルの境界部にまで到達するのに十分な出力を与えるために、送信器セクションは高出力アンプを必要としている。

【0003】

異なる搬送波によって変調された複数の情報信号を1つのアンプで同時に増幅する際、あるいは、QAM（直交振幅変調：Quadrature Amplitude Modulation）のような線形変調を使用する際は、アンプが高い線形性を有していることが必要である。これは、これらの場合には、増幅に関与する信号成分の位相と振幅の位置を全て維持することが不可欠だからである。さもなければ、信号成分間に混変調が発生し、増幅された信号のスペクトルが拡大する。混変調歪は、他のチャネルの信号の障害となる。高度の線形成が要求されるシステムは、例えば、複数の狭帯域信号又はCDMAのような広帯域信号の組み合わせを増幅する必要のあるシステムである。

【0004】

R Fパワーアンプは、増幅された出力信号において入力信号とは区別され、かつ明瞭な偽の信号である望ましくない混変調歪を発生するので、本質的に非線形装置である。R Fアンプによって発生する歪のために、増幅された出力信号の位相と振幅は、入力信号の位相と振幅とはそれぞれ異なる。

【0005】

アンプの線形化には他の方法も存在する。A級のバックオフ、フィードフォワード、ベクトル合計、フィードバックと予歪線形化を含む線形化手法の参考リストと概観が、Mark A. Briffaによる「R Fパワーアンプの線形化(Linearization

of RF Power Amplifiers)」（オーストラリア、ビクトリア工科大学、電気電子工学部、1996年12月）に記載されている。

【0006】

予歪は、パワーアンプの歪特性と相補的関係になるようにパワーアンプへの初期入力信号を補正する方法である。相補的な予歪とアンプの歪のカスケード応答は、結果的に線形応答をもたらす。典型的な場合には、相補的予歪関数は、出力又はボルテラ直列（あるいは、AM/AMとAM/PMとして知られている）によって表したアンプの近似値に基づくものである。しかし、相補的予歪関数もまた、トランジスタの熱特性、および／または、バイアス又はマッチング回路に起因する周波数依存性のような高次の効果を含み得る。予歪は、アナログ予歪として知られているように、無線周波数又は中間周波数において付与することができるし、デジタル予歪として知られているようにベースバンドで付与することもできる。さらに、優れた線形性を達成するために、温度、構成要素の経年効果等に起因する変化を相殺するためには、予歪手段の適用化が必要である。

【0007】

予歪機構は、RFアンプの出力から誤差歪信号成分を抽出して、実時間において、アンプの出力中の歪を効果的かつ継続的に最小化するように、抽出されたRFアンプの誤差挙動に基づく予歪調節を行うことによって適用化することができる。適用型デジタル予歪手段の概観は、J. K. Caversによる「適用型予歪によるアンプの線形化 (Amplifier linearisation by adaptive predistortion)」（米国特許第5049832号）に記載されている。国際公開公報第99/45638号と同第99/45640号には、適用型アナログ予歪方法の例が記載されている。

【0008】

アナログ予歪によって良好な結果を得るためにには、相補的予歪関数とアンプの歪関数を注意深く一致させる必要がある。しかし、極めて一致度の高い特性を有するアナログ素子は実現困難で製造費用が高い。典型的な場合には、アナログ予歪のダイナミック（作動）レンジには限界があり、従って、性能の改善にも限界がある。しかし、アナログ予歪は広いバンド幅に対して動作可能である。

【0009】

一方、理論上は、適用型デジタル予歪によれば、線形性を顕著に改善するためには必要な極めて優れた一致度を得ることができる。しかし、予歪がベースバンドで与えられるので、增幅の前に無線周波数に変換することが必要である。しかし、この周波数変換は、本質的にデジタル領域における完全な一致達成能力を阻却するアナログ領域で行われる。この結果、デジタル予歪もまたアナログ予歪と比較して性能及び帯域幅の点で限界がある。

【0010】

アナログ変換処理の周波数依存性、振幅リップルと位相リップルが、デジタル領域での一致性を損なう原因である。これらの値のいずれもが、達成することができる性能の改善に直接関連するものである。振幅と位相リップルが増大すると、デジタル領域で相補関数の一致度がいかに優れているかとは無関係に、線形性の改善は低下する。

【0011】

アナログとデジタル予歪線形化は、これら2つの解決方法が実現に際しそれぞれ別の基本構造を必要とするという現実的な問題があるので、これらは通常それぞれ独立の手法として実現されている。これらは以下の2つの例で最も良く示されている。通常のマクロ基地局では、パワーアンプ（PA）は、場合によっては周波数変換回路と共にラックの一部として組み込まれたモジュールである。デジタルベースバンド処理回路は、物理的には、そのラックの別の部分に位置している。これら2つの構成要素は、物理的に分離しており、信号は同軸ケーブルを介して行き来する。マストに搭載されたアンテナでは、PAはマストの頭部にあり、ベースバンド処理部はマストの基部に位置する。いずれの例でも、デジタルベースバンド処理部とPAモジュールは物理的に分離しており、現実には設置上の問題を生じる。

【0012】

しかし、組み合わせによって線形化を実現する解決手段の例も存在する。例えば、デジタル予歪とフィードフォワードの組み合わせの例が、国際公開公報第98/12800号に記載されている。フィードフォワードの構造は、追加の信号

パスと2つのカプラ、(一方はパワーアンプ(PA)から信号を取り出すためのカプラ他方は残存するPA歪を引き算するためのカプラ)を必要とする。後者のカプラは損失を加算する。このために、2つの方法を組み合わせたときにも全体的な効率が低下する。解決方法はまたかなり複雑なもので、多くの構成要素を必要とし、実現は困難である。

【0013】

RF予歪とフィードフォワードの組み合わせの別の例が、Yuval Shalomによる技術白書「デジタル革命にマルチキャリアパワーアンプが参加(Multi-Carrier Power Amplifier join the Digital Revolution)」インターテック出版、サイト管理と技術雑誌、1999年秋号、に記載されている。当該資料によれば、以下の3つのファクタのために、フィードフォワードアンプのDC-RF効率は、6ないし8%が限界である。

【0014】

1) マルチキャリア(広帯域)信号のピーク対平均値の比が大きいために、バックオフが大きい。パワーアンプに供給されるDCパワーは P_{DCamp} で与えられ、アンプからのRF出力パワーは P_{RF} で与えられる。

【0015】

2) パワーアンプに追加される遅延ラインやカプラのようなハードウェアにより挿入(パワー)ロスが発生する。パワーロスは、総パワーのうち損失の後に残っているパワーの比率と定義することができ、0.8つまり20%(1dB)のパワーを喪失するのが典型的である。

【0016】

3) フィードフォワードシステムの別の部分、例えば誤差アンプ、制御回路がDCパワー($P_{DCother}$)を消費する。

【0017】

フィードフォワードとRF予歪の組み合わせシステムでは、DC-RF効率の公式は以下のように近似することができる。

$$DC-RF\text{ 効率} = 0.8 \times PRF / (P_{DCother} + P_{DCamp})$$

【0018】

予歪システムだけを使用したときには、フィードフォワードシステムに損失を導入するようなハードウェアを追加する必要はない。フィードフォワードシステムの別の部分に関しては、このことによって複雑性が低減され、以下に示す予歪のDC-RF効率を示す公式が示すようにDC-RF効率が向上する。

$$\text{DC-RF 効率} = P_{RF} / P_{DCamp} > 0.8 \times P_{RF} / (P_{DCot} + P_{DCamp})$$

【0019】

広帯域のアプリケーションは狭帯域の装置とは異なる問題を有するので、部分的には異なる基本構造と手段を用いなければならない。

【0020】

予歪システムは閉鎖ループシステムとは違って、擬閉鎖ループパワー増幅システムである。閉鎖ループシステムはフィードバック、例えば、デカルトフィードバック、エンベロープフィードバック、ポーラーフィードバックに準拠するものである。

【0021】

擬閉鎖ループシステムの利点は、数10MHzの狭帯域システムと広帯域システムに使用できることである。これに対して、閉鎖ループシステムは、通常は擬閉鎖ループシステムよりも高度の線形化を達成できるにもかかわらず、現実的な安定性の理由から数100KHzに限定されている。

【0022】

擬閉鎖ループシステムと閉鎖ループシステムに加えて、高度の線形性と広帯域信号の伝送性を共に達成するフィードフォワード増幅を使用することもできる。予歪を使用する方法に比較すると、この方法は、ロープのバランス維持のために比較的複雑なゲインと位相トラッキング機構を必要とし、結果的にパワー効率は低い。フィードフォワード基本構造は、広帯域無線への線形化適用においては現在最も広範に使用されている技術である。広帯域無線への適用のために、アナログとデジタル方法による予歪は、全般的に、フィードフォワードに比較して線形性では劣るもののが良好なパワー効率を有することが特徴である。

【0023】

デジタル信号処理が比較的遅かったことと精度上の制限のために、以前は広帯域信号のためにデジタル予歪方法を使用することは技術的に不可能であった。しかし、例えばデジタル回路製造方法の導入による高速デジタル信号処理の開発と、D A C（デジタルからアナログへの変換器）の進歩によって、この問題は解消された。

【0024】

しかし、広帯域システムでのデジタル予歪技術の使用は、アナログ周波数変換処理の周波数依存性が性能の改善を制限するので、ベースバンド信号を無線信号に変換することに関連して現れる問題に焦点をあてるうことになる。

【0025】

アナログ周波数変換処理は、周波数と無関係に、下記のような同じ伝達関数を有すると仮定されている。

$$Y = f^n(X)$$

ここで、Yは出力信号であり入力信号Xの関数である。典型的な場合には、周波数変換回路はYがXに対して線形性を有するように設計されるが、この仮定は狭帯域信号に対するものである。広帯域信号への適用に関しては、周波数変換処理は以下のように周波数への依存がより強くなる。

$$Y = f_n(X, \text{周波数})$$

【0026】

この周波数依存性はデジタル予歪の完全な一致を損ない、従って、線形性は限られたものになる。周波数依存性を低減することは可能であるが、広帯域にわたって振幅と位相リップルを非常に小さくすること、つまり、デジタル予歪によつて所望の線形性を達成するに十分な程度に振幅と位相リップルを小さくすることは、非現実的あるいは高価である。周波数変換器の周波数依存性を相殺するためにデジタル周波数イコライザを使用することができる。しかし、線形性の程度を制限する周波数依存性は常に残存し、解決手法を複雑にする。

【0027】

デジタル予歪において生じる周波数変換時の問題を克服して、広帯域と狭帯域

に使用することができるデジタル予歪を使用した、改善された線形化方法を提供することが本発明の目的である。

【0028】

(発明の要旨)

本発明による、予歪によって無線周波数（R F）のパワーアンプを線形化する方法は、当該R Fパワーアンプによって増幅すべき、デジタル化されたベースバンド入力信号を受け取る過程と、受け取った信号に対してデジタル予歪を与えてアンプに起因する歪を補償する過程と、当該信号をD／A変換器によってアナログ信号に変換する過程と、アナログ周波数変換を実行して無線周波数（R F）信号を得る過程と、R F信号に対してアナログ予歪を与える過程と、アナログ予歪を与えられた信号を前記R Fパワーアンプによって増幅する過程とを有する。

【0029】

本発明のパワーアンプは、本発明に基づく上述の仮定を実行する手段が特徴である。あるいは、デジタル予歪を与えられた信号を、本発明による方法及びパワーアンプでデジタル中間低周波数に変換し、その後、信号を1つのD／A変換器のみを用いてアナログ信号に変換してもよい。これらの解決手法はいずれも、受け取ったベースバンド入力信号を位相角が互いに90度異なる2つの信号に分離して、次にそれぞれの信号に対して本発明に基づく手段の残りの段階を実行することを内容とする本発明に基づく別の基本構造で使用することができる。

【0030】

本発明の実施形態のいずれにおいても、性能をさらに改善する、および／または、温度や素子の経年変化等による変化を補償するために、予歪を適用型にすることができる。

【0031】

さらに、本発明は後に述べる別の基本構造と共に使用することも可能である。

【0032】

本発明は、予歪を利用した従来の方法に比較して複数の利点を有する。性能に関する要求をデジタル予歪とアナログ予歪に分離してデジタル予歪処理がもたらす変換の問題を解消することによって、デジタル予歪を単独で使用する場合と比

較して線形性を改善することができる。本発明による解決手法は、特に広帯域システムについて、フィードフォワードによる線形化手法と比較して効率が高い。

【0033】

本発明はまた、線形化性能が部分的にはアナログ予歪手段によって取り扱われる所以、周波数変換部に対する要求が低減される利点を有する。この結果、周波数変換部のコストを低減することが可能になる。

【0034】

上述の従来技術に見られるようなデジタルベースバンド処理部とPAモジュールの物理的な分離は、アナログ予歪とデジタル予歪の組み合わせを可能にするために解決しなければならない問題の1つである。

【0035】

本発明の利点の1つは、デジタル予歪とアナログ予歪を分離することによって全体的な性能の改善が達成されるという事実である。例えば、基本的なアンプが -30 dBc の性能を有しており、 30 dB の改善が必要であれば、全体としては -60 dBc の線形性が必要である。従ってデジタル予歪によって 20 dB の改善が得られ、アナログ予歪によって 10 dB の改善が得られる。このことによつて、デジタル予歪又はアナログ予歪単独では達成することのできないかあるいは達成が非常に困難な、総合的な線形化が可能になる。デジタル予歪だけによつてこの効果を達成するには、周波数変換器に対して厳密な設計要求が課せられ、結果的に実現不可能か極めてコスト高になる。アナログ予歪のみによつて同様の効果を達成するには、相補的予歪関数とアンプの歪関数の極めて優れた一致が必要になり、極めて優れた一致性を有するアナログ部材の製造は非常に困難かつ高価である。

【0036】

本発明の他の利点は、本発明はアナログ予歪とデジタル予歪の本来の強みを組み合わせたものである点である。つまり、アナログ予歪は広い周波数範囲についてある程度の修正能力を有しており、デジタル予歪は狭い周波数範囲については極めて優れた修正能力を有している。従つて、組み合わせによつて、デジタル予歪又はアナログ予歪技術を単独で用いた場合に比較して、修正能力が改善されて

いる。

【0037】

以下に添付の図面を参照して本発明をより詳細に記述する。

【0038】

(実施例の詳細な説明)

図1に示すように、デジタル化された複合ベースバンド入力信号 S_{in} はまずブロック1において予歪を与えられ、複合ベースバンドデジタル予歪出力信号 S_{out} を生成する。さらに詳細には、これはそれぞれブロック4及び5で、アナログ予歪器とパワーアンプの組み合わせに対して相補的に行われる。これについては後述でさらに説明する。アナログ予歪器とパワーアンプの組み合わせは線形パワーアンプを形成すると考えることができる。

【0039】

次に、複合ベースバンドデジタル予歪信号 S_{out} は、ブロック2において2つのD/A変換器(DAC)によりアナログ信号に変換される。或いは、図1には示されていないが、ベースバンドデジタル予歪信号 S_{out} はまずデジタル処理により周波数を変換し、その後1つのDACによりアナログ信号に変換することもできる。

【0040】

DACからの出力は次に、ブロック3において周波数変換回路により周波数を変換され、無線周波数信号 RF_{in} となる。周波数変換回路3は、当業者には自明の様態に配置された、ミキサ、フィルタ、アンプなどから構成される。周波数変換の工程には周波数依存性の振幅と位相リップルが導入されており、これによりデジタル処理による予歪のみで達成できる線形化能力が部分的に破壊される。周波数を変換したデジタル予歪信号を含む信号 RF_{in} は次に、ブロック4においてパワーアンプ5と相補的なアナログ予歪を与えられる。予歪を与えられたRF信号 RF_{out} は、次にパワーアンプ5を通過し、その後アンテナ6により送信される。

【0041】

デジタル予歪1及びアナログ予歪4はそれぞれ、線形性能及び/又は温度や経

年効果などによる無効変化をさらに向上させるような適用化が可能である。適用化の手順は当業者には自明であり、図1のブロック1及び4に向かう破線矢印で示す。

【0042】

図2はいわゆるドハティアンプを図解している。ドハティアンプの構造は、例えば、Steve C. Crippsによる「無線通信のための無線周波数（RF）パワーアンプ」（ISBN 0-89006-989-1, Artech House, 685 Canton Street, Norwood MA 02062）に記載されている。このアンプの基本概念に従い、2つの増幅装置5及び $5'$ を平行に使用し、両装置の電力を結合することにより最終最大RF出力パワーを発生させる。ドハティアンプは、1つの増幅装置を使用する技術に比較して効率的な増幅技術となるが、線形化の向上には何ら寄与しない。つまり、ベースバンド入力信号 S_{in} は、ブロック7において直交位相分割され、互いに90度の位相差を有する2つの信号に分離される。2つの信号は増幅装置5及び $5'$ により増幅され、ブロック15において結合され、その後アンテナ6により送信される。

【0043】

図3では、図1を参照して説明した本発明による解決法を導入することにより、線形化の点でドハティアンプの性能を向上させることが可能であることが示されている。ベースバンド入力信号 S_{in} はまず、ブロック7において該入力信号と同じ信号である S_{in} と、それと90度の位相差を有する第2の信号 $S_{in}90^\circ$ に分離される。90度の位相差は、いわゆるヒルバート変換又は当業者に自明の従来技術により生じさせることができる。

【0044】

2つの信号 S_{in} 及び $S_{in}90^\circ$ は、それぞれ図1で示した同じタイプの機能ブロックを有し、ブロック7からブロック15で示す結合器まで平行に延びる各バス上で処理される。上部バス上のブロックには、図1で使用したブロック番号1, 2, 3, 4及び5が付与されており、一方下部バス上のブロックには番号 $1'$, $2'$, $3'$, $4'$ 及び $5'$ が付与されている。元の信号 S_{in} を受ける上部バスは主要パワーアンプ5を含み、一方、90度の位相差を有する信号を受け

る下部パスは、ピークアンプ或いは補助アンプ5'を含む。

【0045】

アンプ5及び5'の出力信号は、上部パスの信号を90度移相し、結合器15で結合される。典型的に、結合は、主要パワーアンプ5出力の後に、四分の一波長遅延として実行されてもよい。結合されてできた結合器15の出力信号は、アンテナ6により送信される。

【0046】

上述のように、ドハティ構造に本発明を適用することにより、使用するパワーインプの線形化が向上し、また該パワーインプの線形性は狭帯域及び広帯域両方の無線通信システムに使用するのにさらに適したものになる。

【0047】

図4及び5は、本発明に関して使用することができる、デジタル予歪及びアナログ予歪を与える方法の簡単な例を図解している。これらの図において、アンプは記憶効果を有さないと想定する。ここで参照するのは、アンプのAM/AM(振幅変調/振幅変調)モデルとAM/PM(振幅変調/位相変調)モデルである。

【0048】

パワーインプがパワートランジスタの熱的性質及び/又はバイアス及び適合回路に起因する周波数依存性などにより生じる記憶効果を受けている場合は、従来技術でも明らかなように、これら効果を補償するためにデジタル予歪器及びアナログ予歪器にも記憶効果が必要になる。以下に、本発明によるアナログと予歪法の組み合わせに使用することができる、デジタル予歪器及びアナログ予歪器の例を説明する。

【0049】

図4は、図1のブロック1で示す種類のデジタル予歪を与える方法の一例を図解している。この場合のデジタル予歪は、記憶効果を有さない非線形パワーアンプとアナログ予歪の組み合わせを補償すると想定され、デカルト複素ゲイン予歪に基づいている。記憶効果を有さない他の予歪器の例として、極複素ゲイン又はフルサイズのデカルトマッピングを挙げることができ、それらの基本理念は米国

特許第5049832号に記載されている。

【0050】

図4では、図1の複合ベースバンド入力デジタル信号 S_{in} がアドレスゼネレータ8で受信される。アドレスゼネレータ8は、信号の振幅機能に基づいてアドレスを発生させる。これはパワーアンプが記憶効果を有し、非線形であるという想定に一致する。アドレスは一般に S_{in} の振幅又はパワーであって、ここで取り上げているデジタルサンプルの修正（予歪）テーブル9から相補的複素ゲイン S_{corr} を選択するために使用される。修正テーブル9はアナログ予歪4とパワーアンプ5の組み合わせの総相補的複素ゲインを含み、デジタル予歪1、アナログ予歪4及びパワーアンプ5の相補的ゲインの結合は、全ての入力信号の絶対値について、ゲイン及び位相が線形となっている。相補的複素ゲインの例、 S_{corr} 及び元の入力信号の例 S_{in} は、次に複合乗算器10により処理される。複合乗算器10の出力 S_{out} は、アナログ予歪とパワーアンプの組み合わせを線形化するように設計されている。図4で使用されている信号は複合信号で、信号パスにおいて2で示されている。

【0051】

図5は、図1のリファレンス番号4で示されている種類の第3次のアナログRF予歪の例を図解している。RFに変換されたデジタル予歪を与えられた信号は、アナログ予歪器4に対する入力 RF_{in} を形成する。 RF_{in} 信号は、RF信号と修正信号が乗算器13及び13'に同時に到達するように、ブロック11で遅延される。遅延した RF_{in} 信号はブロック12で直交位相を有する2つの信号に分離される。つまり、2つの信号の間には90度の位相差がある。

【0052】

直交位相を有する両信号は、次に、それぞれ乗算器13及び13'において修正（予歪）信号 I_{corr} 及び Q_{corr} と混合される。これらの信号 I_{corr} 及び Q_{corr} は、アンプの相補的アナログ複素ゲインを表している。混合して出来た信号は次に、ハイブリッド結合器14において位相結合される。アナログ予歪器RF_{out}の出力は、パワーアンプを線形化するように設計されている。

【0053】

修正信号 I_{corr} 及び Q_{corr} は、二乗機能ブロック 18 でまず入力信号 RF_{in} を二乗し、次にフィルタ機能ブロック 19において、二乗機能ブロック 18により発生した不要な高調波をフィルタし、最後に、2つのブロック 16において、機能 19 でフィルタされた信号を、2つの第3次係数 17 及び $17'$ で乗算することにより生成される。2つの第3次係数により、アンプの相補的複素ゲインの概算値が求められる。より高次の係数を使用することにより、アンプの相補的ゲインの適合が向上すること及びアナログ RF 予歪器には他にも様々な例があることは当業者には明らかであり、それら予歪器の数例が、1996年12月出願のオーストラリア及び国際公開公報第99/45640号及び同第99/45638号となった、Mark Briffaによる「RF パワー・アンプの線形化(Linearisation of RF Power Amplifiers)」(オーストラリア、ビクトリア工科大学、電気電子工学部、1996年)に記載されている。

【0054】

(シミュレーション結果)

デジタル予歪処理によって発生する周波数変換の問題を、性能要求を本発明に従ってデジタル予歪とアナログ予歪への要求に分解することによって、デジタル予歪を単独で使用した場合に比較して線形性が改善された。本発明に基づく解決手法によれば、デジタル又はアナログ予歪手法を単独で使用した場合に比較して、全ての周波数範囲において修正能力を改善することができた。

【0055】

このことは、バンド幅を 4.096 MHz とした WCDMA 信号を使用した以下のシミュレーション結果によって示されている。所定のパワー・アンプとデジタル予歪による線形化のみを行った結果をまず図 6 に示す。

【0056】

アンプの隣接チャネル性能あるいは線形性は、信号パワーの、上方又は下方に隣接する信号のパワーに対する比によって定義される。パワーは、4.096 MHz のバンド幅に渡ってエネルギーを積分することによって計算することができる。前記の信号については、パワーは2つの垂直な実線の間の範囲の面積として

表わされ、隣接する信号については、パワーは垂直な破線の間の範囲の面積で表わされる。

【0057】

所定のアンプ単独での隣接チャネル性能（図6では破線で示す）は、それぞれ上方側と下方側のチャネルについて、35.8 dBcと34.4 dBcである。周波数変換器において、両振幅が0.6 dBの振幅リップルを有する完全なデジタル予歪（所定のパワーアンプに対する理想的な相補関数）を与えた結果、隣接チャネル性能が、それぞれ下方側と上方側の隣接チャネルについて、それぞれ59.2 dBcと58.8 dBcである。所定のパワーアンプの性能は、デジタル予歪によって、23.4と24.4 dB改善されたが、周波数変換器の振幅リップルによる制限がある。

【0058】

次のシミュレーション結果においては、所定のアンプにRFアナログ予歪器による予歪を与えている。図7において、隣接チャネル性能（図7で破線で示す）は、それぞれ上方側と下方側のチャネルについて、41.1 dBcと40.6 dBcである。アナログ予歪により、所定のパワーアンプの性能は5.3 dBと5.2 dB改善された。アナログ予歪により本例のアンプにおける高次のひずみも（広帯域）改善されていることは注目される。

【0059】

デジタル予歪をアナログ予歪及び所定のパワーアンプに適用する。周波数変換機の振幅ニップルを頂点とする、0.6 dBのピークを有する完全なデジタル予歪（アナログ予歪と所定のパワーアンプの理想的な補償機能）により、隣接チャネル性能（図7で実線で示す）が上方側と下方側でそれぞれ63.1 dBcと62.8 dBcである。デジタル予歪を加えたことで、明らかに、アナログ予歪及び所定のパワーアンプの性能がさらに22と22.2 dB改善された。

【0060】

どちらの例においても、デジタル予歪の全体的な性能改善は23-24及び22 dBであった。測定値の許容誤差を考慮し、これらの値は非常に近似であると考えることができる。従って、デジタル予歪は性能の点で、初期のアナログ部分

の線形動作に関係無く、周波数アップコンバータのニップルにより制限されていた。これに加えて、アナログ予歪技術とデジタル予歪技術の組み合わせによる全体的な性能改善を、デジタル予歪及びアナログ予歪双方が動作した範囲における、それぞれの改善値を合算して求めた。この範囲を図6及び7に示す。アナログ予歪のみが動作した、周波数の大きな範囲は図6及び7に示さない。しかし、周波数の大きな範囲に渡るスペクトル性能についても、図6及び7に示したよりは小さな範囲であるが、向上が見られた。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は本発明の原理を示すブロック図である。

【図2】 図2は従来技術であるドハティアンプの構造を示している。

【図3】 図3はドハティ構造に組み込まれた本発明の実施例の1つを示している。

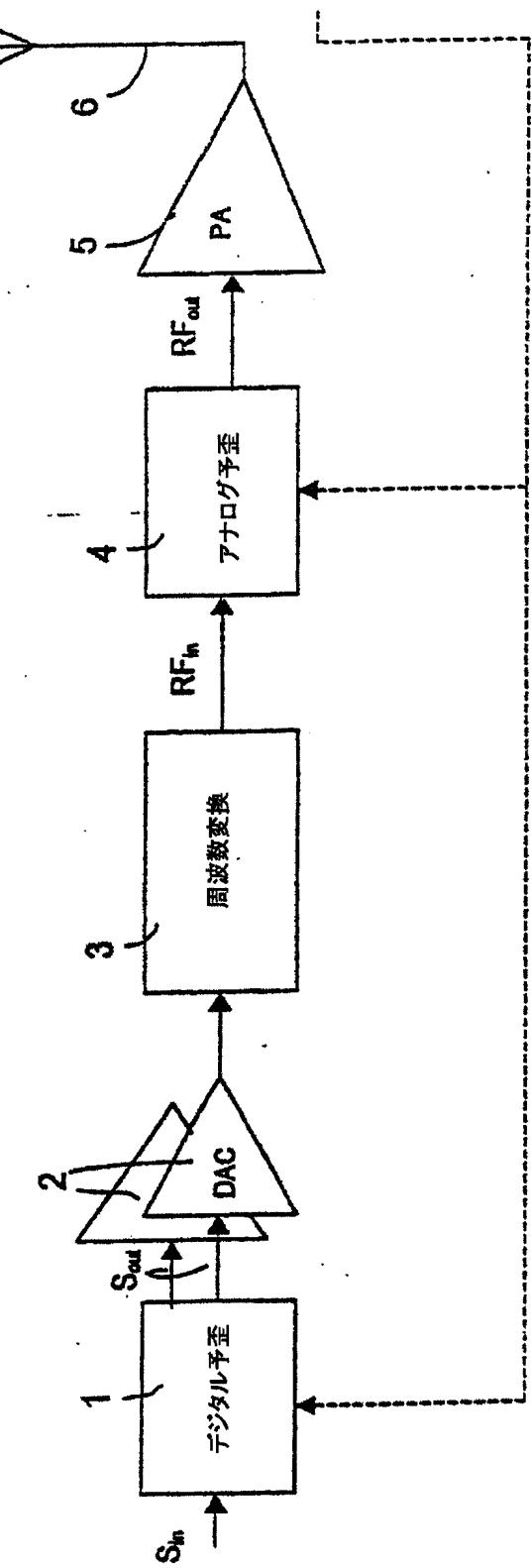
【図4】 図4は本発明によるデジタル予歪の一例を詳細に示している。

【図5】 図5は本発明によるアナログ予歪の一例を詳細に示している。

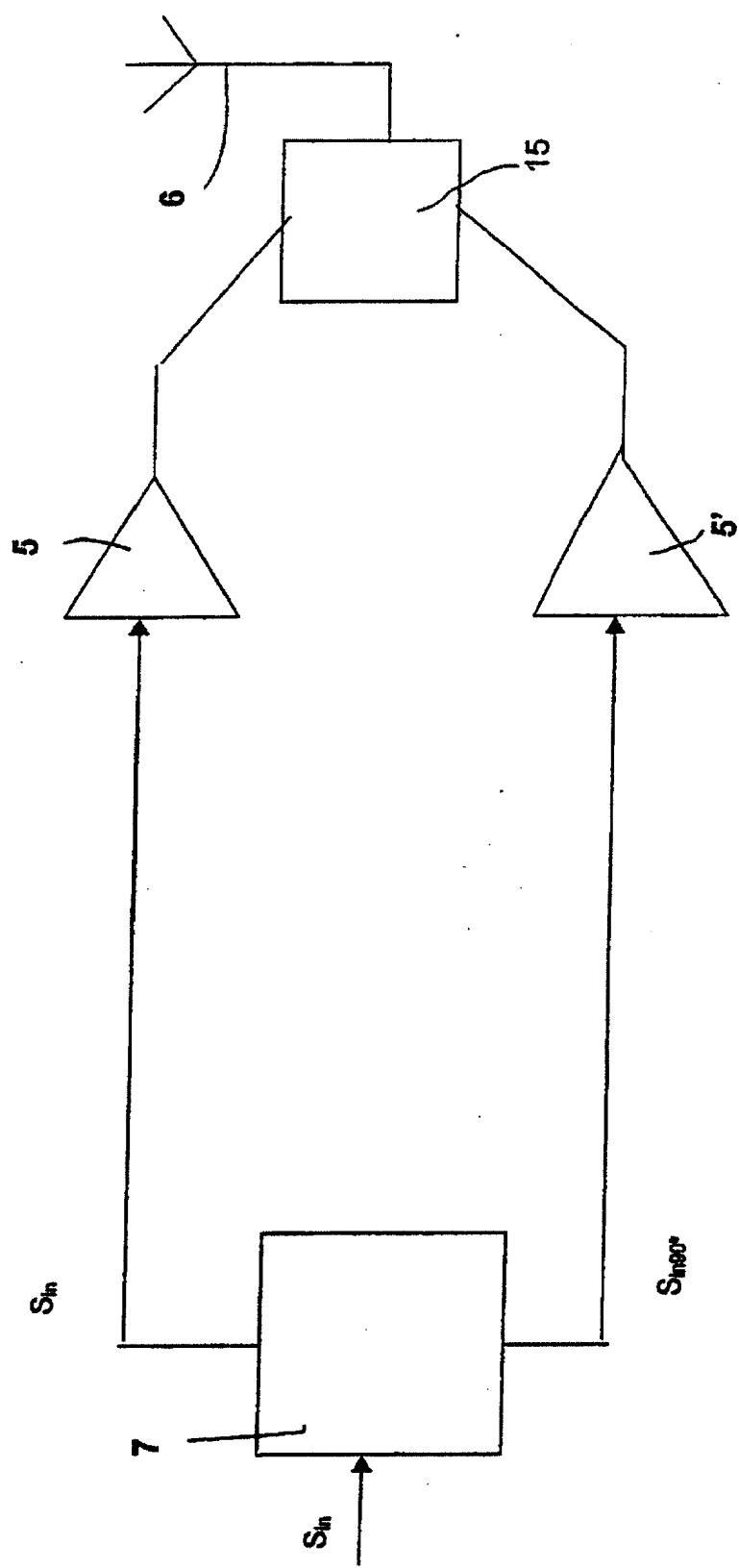
【図6】 図6は先行技術によるデジタル予歪のシミュレーション結果を示す。

【図7】 図7は本発明による方法のシミュレーション結果を示す。

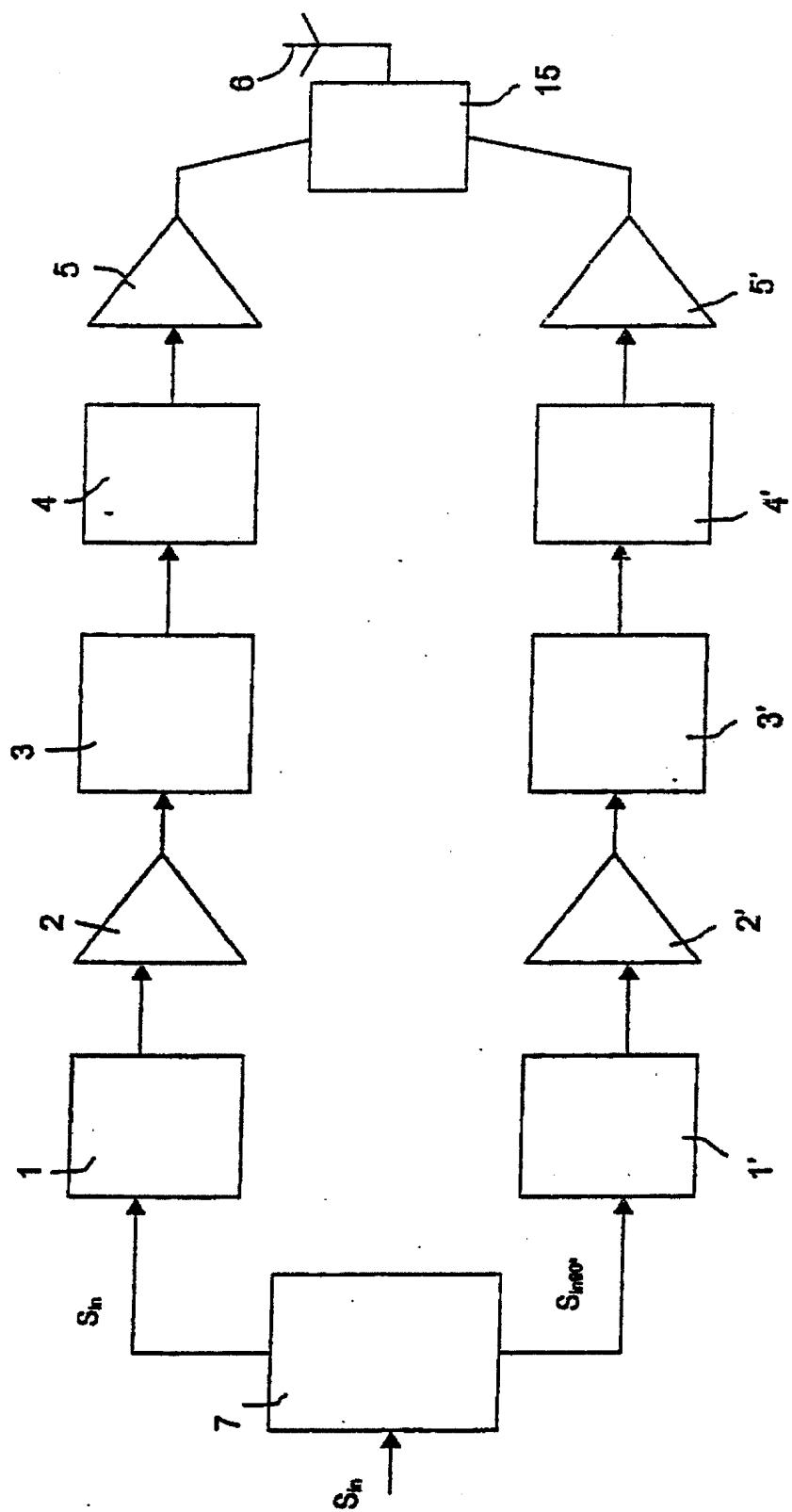
【図1】



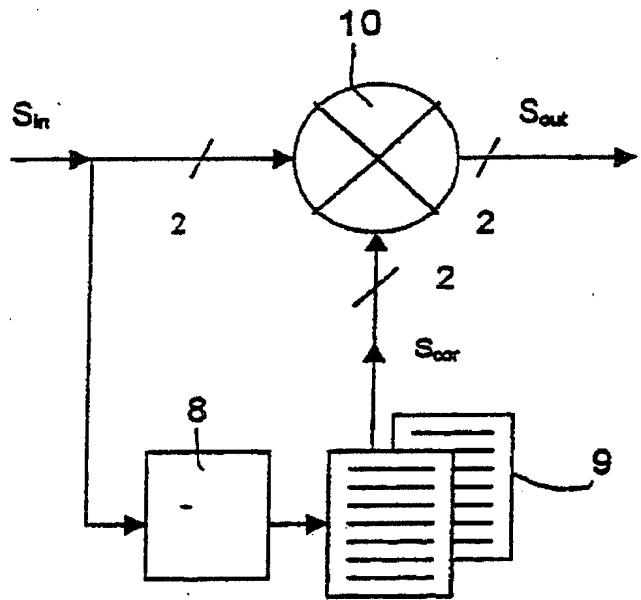
【図2】



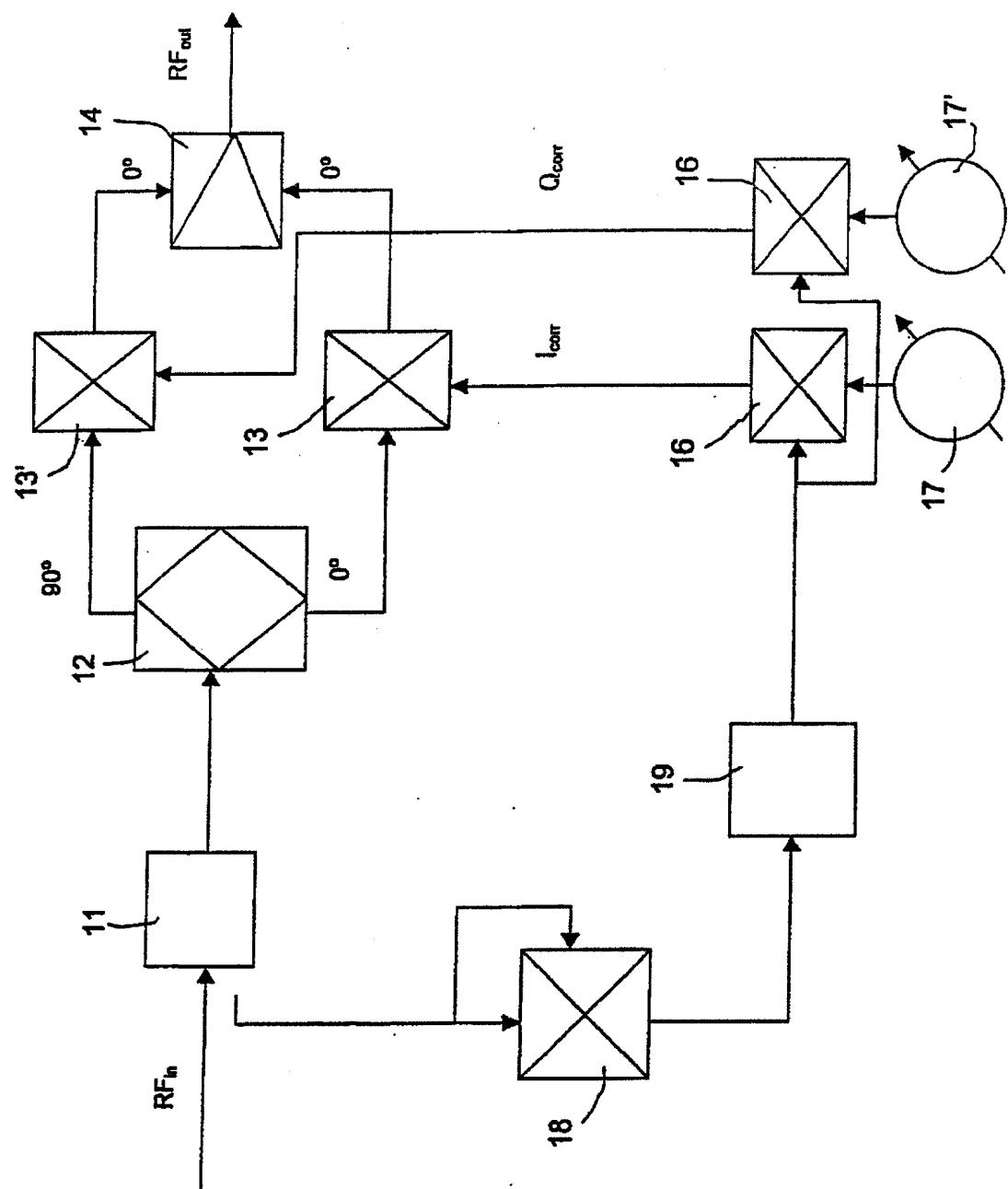
【図3】



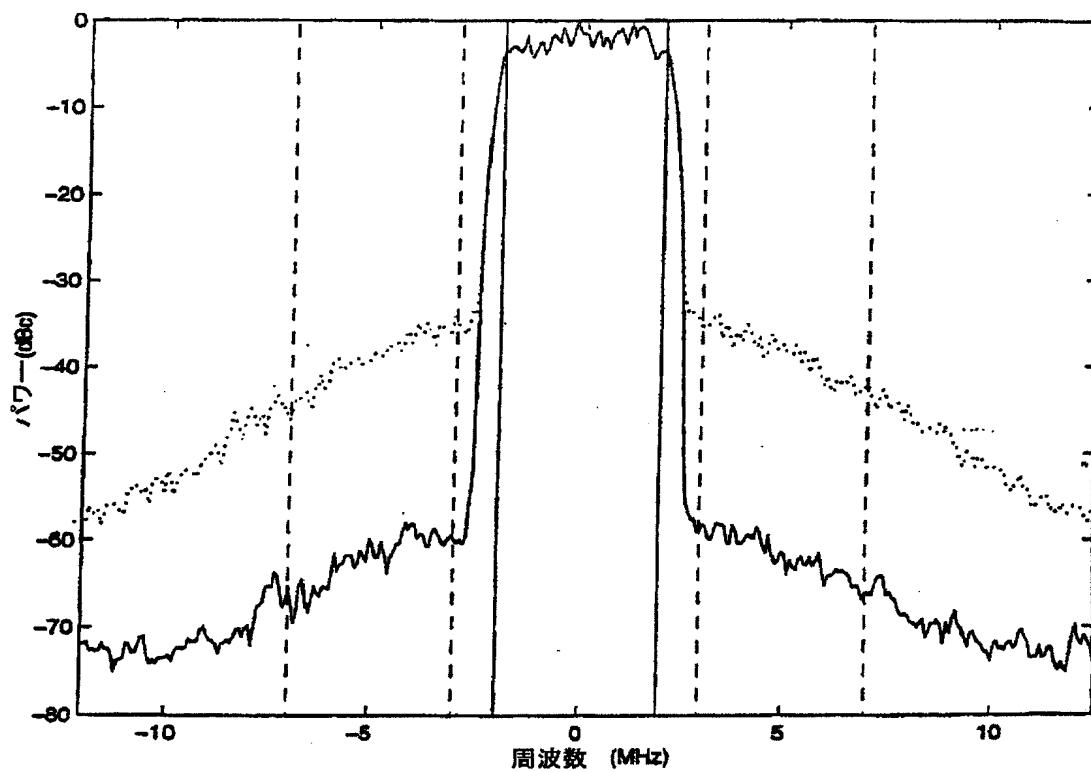
【図4】



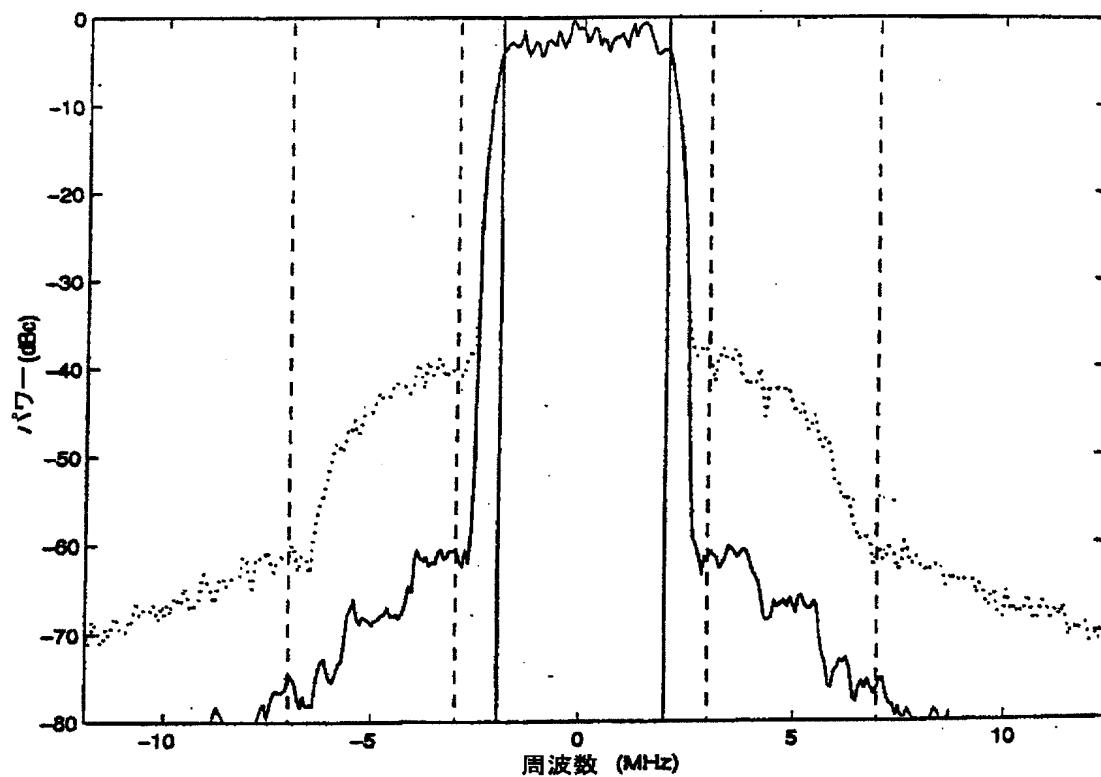
【図5】



【図6】



【図7】



【手続補正書】特許協力条約第34条補正の翻訳文提出書

【提出日】平成14年1月14日(2002.1.14)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 予歪によって無線周波数のパワーアンプを線形化する方法であつて、

a) 当該アンプによって増幅すべき、デジタル化されたベースバンド入力信号を受け取る過程と、

b) 受け取った信号に対してデジタル予歪を与えてアンプに起因する歪を補償する過程と、

c) デジタル予歪を与えられた信号を中間低周波数に変換する過程と、

d) 前記の信号を、D/A変換器によってアナログ信号に変換する過程と、

e) アナログ周波数変換を行って無線周波数信号を得る過程と、

f) 周波数変換された信号に対してアナログ予歪を与える過程と、

g) アナログ予歪を与えられた信号を前記アンプによって増幅する過程とを有する方法。

【請求項2】 アンプの誤差挙動に基づいて予歪を与えられた信号を調節すべく、使用するアンプの出力から誤差信号成分を抽出して適用的にアナログ予歪を与える過程を有する、請求項1に記載の方法。

【請求項3】 使用するアンプの出力から誤差信号成分を抽出し、実時間でのアンプの誤差挙動に基づいて予歪信号を調節することで、適用的にデジタル予歪を与える過程を有する、請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】 無線周波数(RF)信号の線形増幅用パワーアンプであつて

a) ベースバンド入力信号を受け取る手段と、

- b) 入力信号にデジタル予歪を与える手段と、
- c) デジタル予歪を与えられた信号を中間低周波数に変換する手段と、
- d) 上記 c) の手段によって得られた信号をD/A変換する手段と、
- e) アナログ周波数変換を行つて無線周波数(RF)信号を得る手段と、
- f) 無線周波数信号に対してアナログ予歪を与える手段と、
- g) 上記 f) の手段によって得られた信号を増幅する手段とを有するパワーアンプ。

【請求項 5】 無線周波数(RF)信号の線形増幅用パワーアンプであつて

- a) ベースバンド入力信号を受け取る手段と、
- b) 受け取った入力信号を、互いに90度の位相差を有する2つの信号に分離する手段と、
- c) 前記 b) の手段によって分離された2つの信号のそれぞれを受け取る、第1と第2のパス手段であつて、第1と第2のパス手段はそれぞれ、
 - c 1) 対応する信号にデジタル予歪を与える手段と、
 - c 2) デジタル予歪を与えられた信号を中間低周波数に変換する手段と、
 - c 3) 手段 c 2) によって得られた信号をD/A変換する手段と、
 - c 4) 手段 c 3) によって得られた信号をアナログ周波数変換して無線周波数信号を得る手段と、
 - c 5) 手段 c 4) によって得られた信号にアナログ予歪を与える手段と、
- d) 処理された信号を組み合わせる手段とを有するパワーアンプ。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Int'l. Appl. No. PCT/SE 00/02312
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H03F1/32		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H03F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 898 338 A (PROCTOR JAMES A ET AL) 27 April 1999 (1999-04-27) the whole document	1,3,4,6, 8
Y	US 4 291 277 A (BOYD ROBERT W ET AL) 22 September 1981 (1981-09-22)	2,5,7,9
A	the whole document	1,3,4,6, 8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubt on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"C" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 7 March 2001		Date of mailing of the International search report 14/03/2001
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5018 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2640, Tx: 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Segaert, P

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int'l	ional Application No
PCT/SE 00/02312	

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5898338 A	27-04-1999	EP 0928515 A WO 9812800 A US 5949283 A	14-07-1999 26-03-1998 07-09-1999
US 4291277 A	22-09-1981	NONE	

フロントページの続き

(81) 指定国 E P (A T, B E, C H, C Y,
D E, D K, E S, F I, F R, G B, G R, I E, I
T, L U, M C, N L, P T, S E, T R), O A (B F
, B J, C F, C G, C I, C M, G A, G N, G W,
M L, M R, N E, S N, T D, T G), A P (G H, G
M, K E, L S, M W, M Z, S D, S L, S Z, T Z
, U G, Z W), E A (A M, A Z, B Y, K G, K Z,
M D, R U, T J, T M), A E, A G, A L, A M,
A T, A U, A Z, B A, B B, B G, B R, B Y, B
Z, C A, C H, C N, C R, C U, C Z, D E, D K
, D M, D Z, E E, E S, F I, G B, G D, G E,
G H, G M, H R, H U, I D, I L, I N, I S, J
P, K E, K G, K P, K R, K Z, L C, L K, L R
, L S, L T, L U, L V, M A, M D, M G, M K,
M N, M W, M X, M Z, N O, N Z, P L, P T, R
O, R U, S D, S E, S G, S I, S K, S L, T J
, T M, T R, T T, T Z, U A, U G, U S, U Z,
V N, Y U, Z A, Z W

F ターム(参考) 5J090 AA01 AA41 CA22 CA26 FA07
FA15 GN03 GN07 HN03 HN04
KA16 KA26 KA34 MA16 SA14
TA01 TA03
5J500 AA01 AA41 AC22 AC26 AF07
AF15 AK16 AK26 AK34 AM16
AS14 AT01 AT03 NH03 NH04
5K046 AA05 EE52